soas a terem já esquecido. A questão que então surgiu foi esta: como é exactamente o movimento dos planetas em torno do Sol, isto é, qual é o seu tipo de órbita? Será que se movem ao longo de uma circunferência com centro no Sol ou ao longo de outra curva qualquer? Qual é a sua velocidade? Etc. As respostas a estas perguntas não foram imediatas. Depois de Copérnico houve grandes discussões sobre se, de facto, os planetas, incluindo a Terra, andavam à volta do Sol ou se era a Terra o centro do universo, etc. Nessa altura um sujeito chamado Tycho Brahe[1] arranjou uma maneira de responder à questão. Pensou que talvez fosse boa ideia observar muito cuidadosamente o céu e registar as posições exactas dos planetas. Talvez assim as teorias concorrentes pudessem ser comparadas. É esta a chave da ciência moderna. Foi este o início da verdadeira compreensão da Natureza da ideia de observar as coisas, registar os pormenores e esperar que com base na informação assim recolhida seja possível uma decisão em favor de uma ou de outra interpretação teórica. Assim, Tycho, que era rico e possuía uma ilha perto de Copenhaga, instalou nessa ilha grandes círculos metálicos e observatórios especiais, tendo registado, noite após noite, as posições dos planetas. Só por meio de um trabalho árduo como este podemos descobrir qualquer coisa.

Esses dados foram todos reunidos, tendo ido parar às mãos de Kepler[2], que tentou analisar o tipo de movimento dos planetas em torno do Sol por um método de tentativa e erro. A certa altura julgou que tinha sido bem

[1] Tycho Brahe, 1546-1601, astrónomo dinamarquês.

[2] Johann Kepler, 1571-1630, astrónomo e matemático alemão, assistente de Brahe.

sucedido; pensou que os planetas descreviam órbitas circulares com centro no Sol. Mais tarde Kepler reparou que um planeta, creio que Marte, estava deslocado de oito minutos de arco e pensou que Tycho Brahe não podia ter efectuado um erro desse tamanho e que a conclusão encontrada não devia estar certa. Assim, em virtude da grande precisão das experiências, foi capaz de avançar com uma nova tentativa, tendo acabado por descobrir três coisas.

Em primeiro lugar, descobriu que os planetas se moviam em elipses à volta do Sol, ocupando o Sol um dos focos. Uma elipse é uma curva que todos os artistas conhecem, pois trata-se de um círculo alongado. As crianças também a conhecem, já que lhes foi ensinado que, se colocarem um anel numa corda, com as duas pontas fixas, um lápis metido no anel permite desenhar uma elipse (fig. 1).

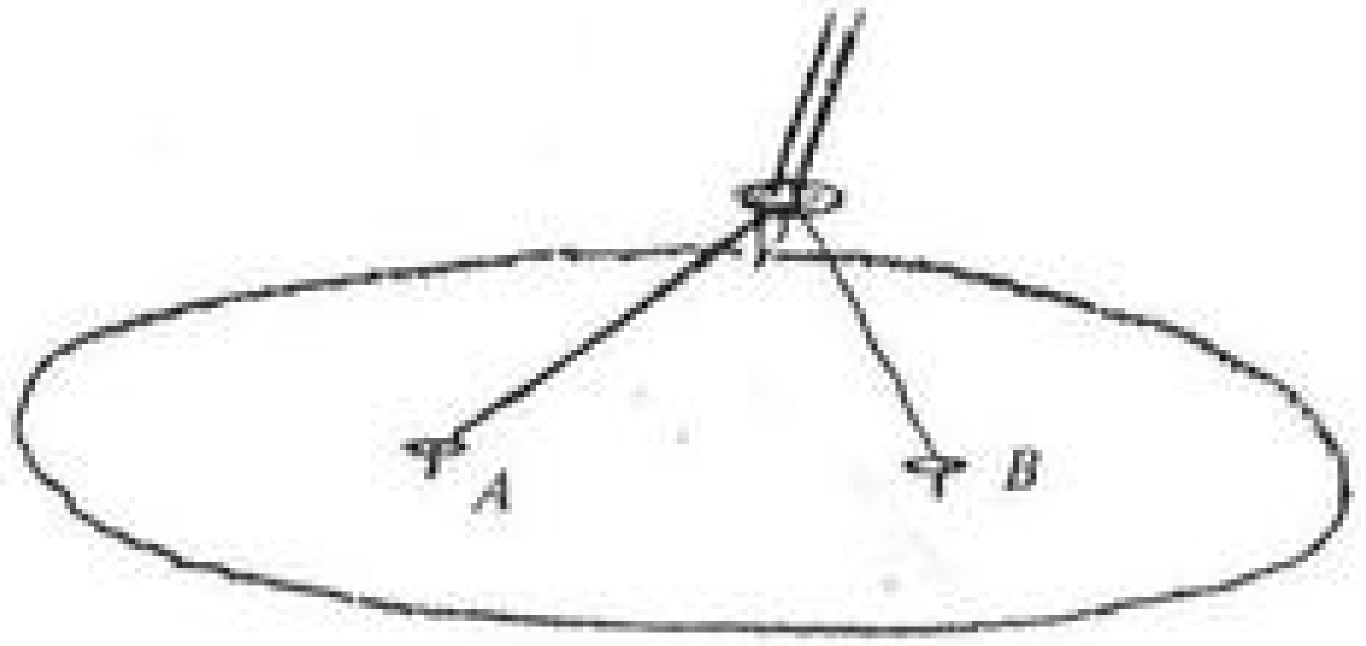

Figura 1

Os pontos A e B são os focos. A órbita de um planeta em torno do Sol é uma elipse com o Sol num dos focos. Pode-se perguntar em seguida: como é que o planeta se move ao longo da elipse? Anda mais depressa quando está perto do Sol? Ou anda mais depressa quando está longe? Kepler também encontrou a resposta a esta questão (fig. 2).

Uma massa, numa caixa, não pode desaparecer sozinha de um sítio e aparecer noutro. Isto nada tem a ver com a conservação da massa; a massa está sempre lá, apenas se move de um sítio para outro. Uma carga podia fazer isto, mas não uma massa. Vou explicar porquê. As leis da física são invariantes em relação a qualquer movimento uniforme, de modo que podemos pressupor que a caixa se desloca lentamente para cima. Tomemos agora o momento angular em relação a um ponto x não muito afastado. À medida que a caixa sobe, se a massa estiver imóvel na caixa, na posição 1, varrerá uma área a uma determinada velocidade. Depois de a massa se ter movido para a posição 2, a área aumenta a uma velocidade maior, uma vez que a distância ao ponto x aumentou, embora a altura seja a mesma (a caixa está a subir). A conservação do momento angular tem como consequência que a taxa de variação da área seja constante. Não se pode, portanto, mover uma massa de um sítio para outro, a menos que se mova uma outra para que o momento angular não varie. É a razão pela qual os foguetes não podem avançar no espaço vazio ... mas movem-se. Considerando o foguete como um conjunto de massas, quando movemos uma para a frente, temos de mover outras para trás, de modo que o movimento total para a frente e para trás de todas as massas se anule. É assim que o foguete funciona: primeiro está imóvel no espaço vazio; depois projecta para trás uma quantidade de gás que o faz avançar. O importante é que de toda a matéria, o centro de massa (o ponto médio de todas as massas) é o único que se conserva no mesmo sítio. A parte interessante avançou e o resto, desinteressante, recuou. Não há nenhum teorema que diga que as coisas interessantes do mundo são conservadas — só o total é que conta.

A descoberta das leis da física é semelhante à montagem das peças de um *puzzle*. Dispomos de muitas peças diferentes, cujo número aumenta constantemente! Muitas são enganadoras, não se ajustam às restantes. Como podemos saber que fazem parte do mesmo conjunto, que devem integrar a mesma figura, que por enquanto ainda está incompleta? A nossa incerteza causa-nos preocupação. Contudo, somos de algum modo encorajados pela característica comum de algumas peças. Todas mostram o mesmo céu azul ou todas elas são feitas da mesma madeira. Todas as diferentes leis físicas obedecem aos mesmos princípios de conservação.

IV. A SIMETRIA DAS LEIS FÍSICAS

A simetria tem qualquer coisa de fascinante para o espírito humano. Gostamos de olhar para os objectos simétricos da Natureza, por exemplo, as esferas perfeitamente simétricas dos planetas e do Sol, ou cristais simétricos de flocos de neve, ou flores aproximadamente simétricas. No entanto, não pretendo analisar aqui a simetria dos objectos naturais, mas antes a simetria das próprias leis físicas. É fácil compreender como é que um objecto pode ser simétrico. Mas como pode uma lei física ser simétrica? Claro que não pode, mas os físicos gostam de usar palavras correntes num sentido particular. Neste caso, as leis físicas transmitem-lhes uma impressão muito semelhante à que é dada pela simetria dos objectos, sendo essa a razão por que falam de simetria das leis. É o que vamos questionar.

Que é a simetria? Se olharem para mim, verificarão que sou simétrico, o lado esquerdo é igual ao lado direito, pelo menos exteriormente. Um vaso também pode ser simétrico, como eu, ou de outro modo. Como se pode definir melhor esta noção? O facto de eu ter simetria bilateral significa que se puserem tudo o que está no meu lado esquerdo no meu lado direito, e vice-versa — se, simplesmente, troca-

aspecto desconhecido dessas leis, que faz com que, provavelmente, o declínio beta não seja reversível no tempo, mas temos de aguardar mais experiências para chegarmos a uma conclusão. De qualquer modo, pode afirmar-se que o declínio beta (quer seja ou não reversível no tempo) é um fenómeno sem grande importância em circunstâncias normais. O facto de poder estar a conversar não depende do declínio beta, embora dependa de interacções químicas (isto é de forças eléctricas), tal como depende pouco de forças nucleares e da gravitação. Contudo, o meu funcionamento é unidireccional: quando falo, a minha voz propaga-se no ar e não regressa à minha boca aberta — esta irreversibilidade não pode ser atribuída ao declínio beta. Por outras palavras, cremos que a maior parte dos fenómenos vulgares do mundo, que são devidos a movimentos atómicos, obedecem a leis completamente reversíveis. Temos então de procurar melhor a explicação da irreversibilidade.

Olhando com atenção para os planetas do sistema solar, verificamos imediatamente que nem tudo é perfeito. Por exemplo, a rotação da Terra em torno do seu eixo está a ser ligeiramente amortecida, fenómeno que é devido à fricção das marés: vê-se facilmente que a fricção é algo claramente irreversível. Se colocarmos um objecto muito pesado no chão e o empurrarmos, o objecto move-se, mas acaba por parar. Por muito tempo que fiquemos à espera, nunca veremos o objecto levantar-se, acelerar e regressar à nossa mão. O atrito parece, pois, ser um fenómeno irreversível. Porém, esse fenómeno, como já frisámos, é o resultado de interacções muito complexas entre o objecto e a madeira do chão, é o resultado da agitação dos átomos do chão. O movimento organizado do objecto

transforma-se em agitação desorganizada, irregular, dos átomos do chão. Por conseguinte, temos de examinar os factos mais pormenorizadamente.

Efectivamente, encontramos aqui a chave da aparente irreversibilidade. Vou dar um exemplo simples. Suponhamos que temos um recipiente com dois compartimentos, um com água azul, corada com tinta, e outro com água clara, isto é, sem tinta. Puxamos então muito lentamente a divisória entre os dois compartimentos. De início a água azul está separada da água clara. Esperamos então um pouco. A água azul mistura-se gradualmente com a água clara e rapidamente toda a água fica azulada, isto é, a cor azul fica uniformemente distribuída por todo o lado. Por muito que esperemos, não conseguiremos ver os dois líquidos separarem-se por si mesmos. (Podíamos, com efeito, voltar a separar a cor azul. Para isso bastava evaporar a água, condensá-la, recolher o corante azul, dissolvê-lo em metade da água e recomeçar tudo outra vez. No entanto, se tal fizéssemos, causaríamos fenómenos irreversíveis nalgum lado.) O sistema não volta atrás espontaneamente.

Isto sugere-nos uma ideia. Observemos as moléculas. Suponhamos que filmamos o processo de mistura de água azul e clara. O filme terá um aspecto bizarro se o passarmos ao contrário, uma vez que a situação se inicia com água uniformemente azul e, gradualmente, as duas cores se separam — será, obviamente, um disparate. Ampliamos agora as imagens, de modo que um físico possa observar as moléculas individuais para tentar descobrir o que se passa de irreversível, onde é violada a lei de equivalência entre futuro e passado. Começamos, pois, a observar as imagens. Vemos moléculas de dois tipos diferentes (embora seja ridículo, vamos designá-las por azuis e bran-